

ESTUDIO DE AGUAS TERMALES Y SU USO POTENCIAL EN EL TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES EN HUMANOS

Aranda Sheyla⁽¹⁾

Giménez Esther⁽²⁾

Rondón Carlos⁽³⁾

Benítez José L.⁽¹⁾

Alarcón C Oscar M⁽³⁾

1. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Cumaná Estado Sucre.

2. Laboratorio de Bioquímica Nutricional, Unidad de Investigación en Bioquímica, Decanato de Ciencias de la Salud, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado Barquisimeto Estado Lara.

3. Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida Estado Mérida.

CONTACTO

sheyla.aranda@gmail.com

Recepción: 28/06/2015

Aprobación: 15/11/2015

RESUMEN

En el presente estudio, se caracterizaron dos afluentes de naturaleza termal ubicados en las localidades de Tabay y de Bailadores, del Estado Mérida. Se determinaron los parámetros físicos y químicos para la caracterización de las aguas subterráneas, acorde con los lineamientos metodológicos establecidos (APHA, 1998) y adaptada al laboratorio CIDIAT de la Universidad de Los Andes. Los resultados obtenidos permiten tipificar las fuentes de Bailadores en aguas mesotermales y la fuente de Tabay del tipo hipertermal (con rangos de temperaturas de: 39 ± 2 °C y de 49 ± 2 °C, respectivamente), ambas de reacción alcalina ($\text{pH} = 8.5 \pm 0.4$) y de mineralización total media. El estudio hidrogeoquímico muestra que las aguas se clasifican en aguas termales sulfatadas sódicas para Tabay y bicarbonatadas sódicas para Bailadores, y las distinguen de otras fuentes termales de regiones cercanas. El análisis microbiológico determinó que pueden ser aptas para uso humano sin tratamiento previo de desinfección. De acuerdo a la literatura consultada, las posibles acciones terapéuticas de estas fuentes vienen dadas por la temperatura, el azufre bivalente y el ion sulfato favoreciendo su uso en el tratamiento de enfermedades del aparato locomotor (reumatismo), de la piel, gastrointestinales, respiratorias y otras al igual que la reactivación del metabolismo y sedación del sistema nervioso. Se concluye que las fuentes termales analizadas pueden ser utilizadas para fines terapéuticos, especialmente como hidroterapia, y de recreación que pudieran promover el desarrollo económico y social de los sectores donde emergen estas fuentes.

Palabras clave: aguas termales, hidrología médica, aguas sulfuradas, termalismo.

STUDY OF HOT SPRINGS AND ITS THERAPEUTIC POTENTIAL FOR USE IN THE TREATMENT OF HUMAN DISEASES.

ABSTRACT

In the present study, two tributaries of thermal nature located at Tabay and Bailadores, Mérida State, were characterized. Physical and chemical parameters for the characterization of groundwater were determined according to methodological guidelines established and adapted to the laboratory CIDIAT at University of Los Andes. The results obtained establish Bailadores source is mesothermal water and Tabay source is hyperthermal water (with ranges of temperatures: 39 ± 2 and 49 ± 2 °C, respectively), both with alkaline reaction ($\text{pH} = 8.5 \pm 0.4$) and mean total mineralization. The hydrogeochemical study shows that thermal waters are classified into sulfated sodium in Tabay water and bicarbonate sodium in Bailadores water, and distinguish them from other hot springs nearby regions. Additionally, microbiological analysis determined that may be suitable for human use without previous treatment. According to the literature, the possible therapeutic actions of these thermal waters are given by the temperature and the content of divalent sulfur and sulfate ions, favoring their use in treating musculoskeletal (rheumatism), skin, gastrointestinal, respiratory and other diseases as well as reactivation of cellular metabolism and nervous system sedation. It is concluded that the thermal springs analyzed can be used for therapeutic, especially as hydrotherapy, besides recreative purposes that should promote economic and social development of the sectors where these sources emerge.

Keywords: thermal waters, medical hidrology, Sulphated waters, thermals

INTRODUCCIÓN

La denominación de agua mineral se utiliza con acepciones muy diversas. En algunos casos, se consideran aguas minerales las que poseen un contenido anómalo en determinados elementos como hierro, sulfuros, sulfatos, litio, bromo, flúor, etc., que normalmente aparecen en muy bajas concentraciones en las aguas subterráneas. Si la temperatura es superior en 4 grados a la temperatura media anual del lugar donde alumbran, se consideran termales (1). Si el contenido de sales disueltas les confiere propiedades terapéuticas para el tratamiento de diferentes enfermedades se les denomina aguas minero-medicinales. En este sentido, se consideran soluciones naturales difícilmente reproducidas de forma artificial, y dotadas de peculiaridades propias sobre el organismo humano o enfermo que justifican sean declaradas de utilidad pública por los organismos oficiales competentes (2).

Las fuentes de aguas termales hoy día, benefician diversas comunidades del mundo, gracias a sus características terapéuticas, recreacionales, así como brindar agua potable (envasada) o para su uso cosmético. Es conocido desde tiempos inmemoriales que las aguas minero-medicinales así como los fangos termales, ricos en minerales presentan efectos terapéuticos. Por esta razón estas fuentes, se han utilizado en el tratamiento de diferentes afecciones dermatológicas, osteoarticulares e incluso del sistema nervioso central, constituyendo una antigua práctica que relaciona al hombre con el entorno medioambiental en el cual se desenvuelve y le restituye elementos de vital importancia para el restablecimiento de su salud (3).

La hidrología médica llamada balneología o crenología es una rama de la medicina que investiga el uso y la aplicación de las aguas minero medicinales para la prevención y el tratamiento de diversos estados patológicos en el ser humano, desde los siguientes puntos de vista: de su origen y/o nacimiento, situación geográfica, composición, efectos sobre los seres vivos, de aplicaciones clínicas y misión en la sociedad (4).

Los nuevos yacimientos de fuentes minerales con posible uso terapéutico o cosmético, deben someterse a los criterios reguladores de organizaciones científicas. A fin de evitar que su explotación sea efectuada de manera indebida y sobre todo para que el usuario del tratamiento, entre en contacto con fuentes minerales inocuas, en las cuales la presencia de entidades tóxicas esté controlada de manera estricta y no se produzcan daños inmediatos o posteriores al tratamiento recibido (5).

En el estado Mérida se han reportado diversas fuentes termales potencialmente explotables. Ante la importancia que tiene la utilización de las aguas minerales, desde el punto de vista de salud pública, el potencial económico y social a nivel regional como nacional; se planteó la conveniencia de efectuar un estudio sobre dos recursos hídricos subterráneos disponibles, ubicados en las poblaciones de Bailadores y de Tabay.

Además, clasificarlos de acuerdo a las características físico-químicas y luego compararlas con resultados anteriores para determinar la variabilidad o constancia de sus componentes a lo largo del tiempo, ya que es una condición indispensable para su posible utilización y explotación organizada. Sobre esta base, identificar en estos recursos termales naturales, el

potencial terapéutico y/o mineromedicinal que pueden ofrecer a futuro, en el tratamiento de diversas enfermedades en los humanos.

METODOLOGIA

Para el presente estudio se escogieron dos zonas del estado Mérida donde emanan aguas termales de reciente uso por parte de la comunidad aledaña a la fuente. El estado Mérida está ubicado en el occidente de Venezuela. Limita al norte con el estado Zulia y al noreste con el estado Trujillo, al sur con el estado Barinas y al suroeste con el estado Táchira.

La primera fuente termal está ubicada al este del estado Mérida en la población de Tabay, Municipio Santos Marquina y a una altura de 2440 msnm (latitud norte 8°38'55.26", longitud oeste 71°04'32.40"O). La segunda fuente termal se encuentra a 2,5 Km de Bailadores, está ubicada al suroeste del Estado Mérida (latitud norte 8°15'23.48" y longitud oeste 71°49'54.26"), a una altura de 1862 msnm y perteneciente al Municipio Rivas Dávila.

La recolección de las muestras se realizó en el punto de emergencia de cada una de las fuentes termales. Se tomaron en horas de la mañana sin presencia de precipitación para el momento de la recolección. Para cada fuente se tomaron tres muestras, las cuales fueron almacenadas en envases de polipropileno con capacidad para 0,5 l; se procuró que las muestras llenaran por completo el recipiente y se cerró herméticamente con tapa envuelta con papel parafilm, a fin de evitar la evaporación del espécimen, durante el traslado de las mismas. Posteriormente, las muestras fueron distribuidas en envases preparados según recomendaciones de la

metodología empleada para cada parámetro a determinar y transportadas bajo refrigeración. Para el análisis bacteriológico, las muestras fueron recolectadas de forma aséptica en frascos de vidrio esterilizados previamente, con tapa de bakelita y capacidad de 0,125 L trasladadas en refrigeración hasta el momento de la inoculación. La cual fue realizada el mismo día de la recolección, en un plazo no mayor de 8 horas. Todos los muestreos se llevaron a cabo a la misma hora del día, para mantener la uniformidad y homogeneidad de los resultados.

Análisis de las muestras

La temperatura, el pH y la conductividad fueron medidas *in situ* con un equipo multiparamétrico hidrográfico, modelo F/SET-3 (marca Multiline serial 400327), con una precisión: termométrica de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$; potenciométrica de $\pm 0,02$ y conductancia eléctrica de $\pm 1\mu\text{S/m}$ (microSiemens por minuto). La ubicación espacial de los puntos emergencia se obtuvo de la dirección de Ambiente del Estado Mérida (6,7).

Todos los análisis químicos para la determinación de sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos se realizaron según Standards Methods for Examination of Water and Waste (8) y adaptada al laboratorio del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes (CIDIAT), donde se realizó la valoración física, química y bacteriológica. La composición isotópica del agua se evaluó mediante la determinación de dos isótopos estables: $\delta^2\text{H}$ (deuterio) y $\delta^{18}\text{O}$, las muestras se analizaron en un espectrómetro láser modelo DLT-100, siguiendo las especificaciones técnicas de la casa comercial (Standard Working Gatos

Research) y acorde con los lineamientos de International Atomic Energy Agency se compararon los valores con la línea meteórica mundial. Para realizar la clasificación de las aguas se utilizó el diagrama de Piper (Fig. 1) que se elaboró con el software AquaChem (Aquachem, 1997) 3.7 y el programa GWW (Ground Water software for Windows). (9).

Para el análisis de los minerales, las muestras fueron previamente acidificadas con ácido nítrico concentrado para la determinación de los cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio. Se utilizó la técnica de espectroscopia de emisión atómica acoplada a un plasma (ICP-OES), de la casa comercial Perkin Elmer, modelo Optima 5300 DV, acoplado a una computadora personal marca Dell – Optiplex modelo 745, con procesador correo 2 Duo, programa Winlab32. Nebulizador Meinhard y cámara Cyclonic. Se utilizó la configuración del plasma de vista radial.

Las determinaciones de los elementos se llevaron a cabo por regresión lineal simple, previa a la intensidad relativa de emisión de cada una de las muestras con las condiciones instrumentales que se muestran en la tabla 1. Cada espécimen se analizó por triplicado y la exactitud del método se evaluó mediante un estudio de recuperación, para lo cual se adicionó a la matriz acuosa una cantidad conocida del analito (sodio, calcio, potasio y magnesio). Realizándose previamente a los ensayos para determinar la cantidad de analito que posee la muestra, cuyos porcentajes de recuperación deben estar contemplados dentro de las normas recomendadas internacionalmente (ver tabla 2). De igual manera, para verificar que no hay interferencias causadas por la complejidad en las matrices para la determinación de los elementos, se

realizó un estudio de adición de estándar; demostrando que no existen diferencias significativas al comparar las pendientes obtenidas de la curva de calibrado sencilla y la curva de adición estándar.

El aislamiento bacteriano se realizó por la técnica de filtración, utilizando medios de cultivos películas petrifilm para bacterias heterótrofas, coliformes totales y *Escherichia coli*. Para las bacterias *Pseudomonas* se utilizó agar cetrimide. La identificación taxonómica se realizó de acuerdo a lo propuesto por Barrow y Feltham (10), complementando con las pruebas bioquímicas de la galería API. El análisis bacteriológico para cada muestra fue realizado de acuerdo al método de determinación del número más probable de bacterias coliformes (NMP), del Compendium of methods for microbiological of food (APHA, 11), en consonancia con las normas venezolanas (12).

Para la preparación de soluciones y lavado del material de laboratorio se empleó agua desionizada de alta pureza ($18 \Omega \text{ cm}^{-1}$ de resistividad). Todo el material utilizado para la determinación de los minerales fue tratado con ácido nítrico al 20 % y luego se enjuagó en tres ocasiones con agua desionizada, con el objeto de eliminar cualquier contaminación de material y traza de los elementos en estudio.

De igual manera, los materiales utilizados en cada uno de los pasos de la toma de muestras hasta su análisis fueron controlados para asegurar la ausencia de contaminación exógena por metales y otros agentes. Todos los reactivos utilizados fueron de mayor grado analítico (marcas Merk, Sigma y Riedel De Hæn).

RESULTADOS

En cuanto a la clasificación hidrotermal, atendiendo a la temperatura, la fuente procedente de Tabay es de carácter hipertermal (con temperatura promedio anual de 49 ± 2 °C), y la fuente aledaña a la población de Bailadores es una fuente de agua mesotermal natural (con temperatura promedio anual de 39 ± 2 °C). En cuanto a las propiedades organolépticas, ambas fuentes se observaron limpias, transparentes y con un ligero sabor al agua marina un poco desagradable al paladar. El olor en ambas fuentes es el característico de aguas origen termal, ya que recuerda a los huevos podridos o sulfuroso (H_2S). Aunque en ambas fuentes el olor fue muy tolerable y de muy baja intensidad. Según la evaluación isotópica ($\delta^2\text{H}$ ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ ‰), los acuíferos termales estudiados sufren fraccionamiento isotópico, debido a que se encuentran en la zona más alta de Venezuela. Tabay: $\delta^2\text{H}$ ($-76,9 \pm 0,9$) ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ ($-12,2 \pm 0,2$) ‰ y Bailadores: $\delta^2\text{H}$ ($-69,9 \pm 0,6$) ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ ($-10,8 \pm 0,1$) ‰. La caracterización isotópica de los cuerpos de agua analizados se muestra en la figura 1.

En las tablas 3 y 4 se muestran los parámetros hidrográficos medidos *in situ*, y las principales características físico-químicas obtenidas de las fuentes hídricas analizadas; además se muestran los reportes realizados previamente por otros investigadores en las fuentes termales consideradas para el presente estudio. Los resultados demuestran que las fuentes hídricas son de reacción ligeramente alcalina ($\text{pH} = 8,3 \pm 0,4$) y mineralización total media siendo los iones predominantes en la fuente de Tabay los sulfatos y el sodio en el siguiente orden decreciente: $\text{SO}_4^{-2} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Cl}^-$ y en la fuente

de Bailadores los bicarbonatos y el sodio en el siguiente orden decreciente: $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$. Los aniones predominantes en las fuentes analizadas fueron: $\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ y el de los cationes presentes fueron: Na^+ y Ca^{+2} seguido de K^+ y Mg^{+2} ; sin embargo, las concentraciones de estos elementos son mayores en la fuente de Bailadores comparado con la fuente de Tabay.

En consonancia con estos valores, la conductividad eléctrica se relacionó inversamente con la altura de los afluentes estudiados, de igual forma con los sólidos totales disueltos (STD). La conductividad de acuerdo a los parámetros de referencia, se demostró moderada para ambas fuentes en cuestión, en consonancia con la salinidad y la dureza total a consecuencia de los electrolitos presentes en la solución. El estudio hidrogeoquímico de acuerdo a la mineralización predominante y especial, demuestra que ambos acuíferos corresponden a aguas termales de moderada mineralización, del tipo sulfatadas de naturaleza mixta con predominio de sales sódicas.

Del análisis microbiológico, se aislaron 22 colonias, cuyos géneros bacterianos principales fueron: *Aeromonas*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Moraxella*, *Pasteurella*, *Plesiomonas*, *Pseudomonas* y *Staphylococcus*. Siendo la población bacteriana heterótrofa muy diversa, pero muy escasa, con un límite de coliformes totales y fecales menor a 12 NMP y con un límite muy por debajo de lo exigido por la normativa nacional vigente (< 150 NMP). Asimismo, la investigación parasitológica, no reportó parásitos ni sus formas evolutivas en las muestras analizadas.

DISCUSIÓN

Las aguas termales proceden de capas subterráneas de la tierra que se encuentran a mayor temperatura. Por lo general, las fuentes de esta naturaleza se encuentran a lo largo de líneas de fallas, ya que a lo largo de este plano pueden introducirse las aguas subterráneas que se calientan al llegar a cierta profundidad y suben después en forma de vapor (que puede condensarse al llegar a la superficie, formando un géiser) o de agua caliente. Por lo general, los gases disueltos y las temperaturas elevadas, se producen recombinaciones iónicas, y cambios en la composición mineral, lo que conduce a variaciones en el pH y de potencial redox, entre otros. La combinación de estos componentes presentes le confiere a los afluentes una composición especial, que le concede una acción terapéutica especial o selectiva sobre el organismo o en algún órgano especial (13).

En otras palabras, dependiendo de la composición iónica predominante, se definen sus acciones terapéuticas. Ya que cada tipo de agua tiene acciones e indicaciones farmacológicas determinadas, en función del predominio de uno u otro mineral. Por esta razón, la evaluación química es la base para la clasificación de estas aguas, reconociendo a los iones predominantes en su composición. Al igual que, las altas temperaturas que son de gran interés terapéutico por la acción térmica que ejercen sobre el organismo. Por estas razones las aguas termales, generalmente se conocen como aguas termominerales o también llamadas minero medicinales (4,13).

En este sentido, los parámetros físico-químicos reportados por las muestras estudiadas, demuestran un

rango de temperatura que clasifica a la fuente de Bailadores como mesotermal, ya que alcanzó un promedio de 39 °C y la fuente de Tabay de tipo hipertermal por su promedio de 49 °C, ambas sin variaciones significativas a lo largo del año, lo cual es un dato fundamental ya que nos indica su origen geológico profundo y determina el carácter termal de las aguas de estas fuentes. En lo que respecta al pH, ambas fuentes son de naturaleza medianamente alcalina, en consonancia con las aguas termales ubicadas en el eje metamórfico de la Sierra Nevada (6,7).

Al considerar la composición isotópica, la línea de evaporación donde inicia el agua procedente de la fuente de Tabay indica que es de origen antiguo, y por ende, ha tenido un largo tiempo de residencia en el subsuelo. En cambio, el espécimen hídrico procedente de Bailadores, demuestra una composición discretamente infiltrada o de mezcla con agua recientemente evaporada, indicando un origen de formación más reciente (7).

Al precisar minuciosamente la composición físico-química de los efluentes considerados en el presente estudio, basados en los reportes hidrogeoquímicos realizados previamente por otros investigadores (6,14); se aprecia el predominio del anión sulfato en la fuente de Tabay y en Bailadores predomina el ion bicarbonato, también se aprecia el incremento progresivo del contenido de sodio y de calcio, modificando su tipificación de mineralización débil a moderada (entre 500 y 1000 mg/L de sales totales).

A pesar de que ambos especímenes hídricos demuestran propiedades físicas particulares, la composición química actual y las modificaciones minerales a lo largo del tiempo son muy semejantes, y se

corresponden con fuentes del tipo sulfatadas y bicarbonatadas de naturaleza mixta, con predominio de sales sódicas.

A este respecto Urbani et al. (7), señalan que la composición promedio de las aguas termales procedentes del estado Mérida, es mayormente del tipo sulfatada sódica debido al contacto de las aguas con piedra caliza procedentes de la formación de Capacho y areniscas de la formación de Aguardiente, donde pueden ocurrir procesos intensos de disolución de rocas carbonáticas; y oxidación de algunos sulfuros de hierro (pirita). Así como también, de los esquistos de la unidad ígneometamórfica de la Sierra Nevada.

Esta observación es consonante con la señalada por Burguera et al. (6), especificando que la fuente de Bailadores, brota de cuerpos graníticos y rocas metamórficas, al igual que la fuente termal de Tabay. Este sistema geotérmico determina la composición química de las aguas termales de la región de Mérida, y la distingue de otras regiones cercanas, como las del estado Táchira, cuya composición química es del tipo sulfatada cálcica, por las elevadas concentraciones de sulfato y de calcio, que se deben al contacto de sus aguas con roca de origen fluvial como las formaciones o fracturas de la Carbonera y el Mirador, y rocas de origen marino, como las formaciones de Capacho y de Aguardiente.

En los estados Trujillo y Zulia la composición promedio de la mayoría de los efluentes termales, son del tipo bicarbonatada cálcica. Esta composición podría estar relacionada con las calizas y lutitas calcáreas de las formaciones de Apon, de Misoa y de la Carbonera (15). Estas características sugieren que cada región tiene

acuíferos con formaciones geológicas similares en cuanto a su constitución.

Las aguas minerales de las fuentes termales tanto de Tabay como de Bailadores, presentaron una gran diversidad de microorganismos autóctonos característicos de aguas de origen termal, predominando las bacterias heterótrofas oligotrófas; en menor número se encuentran microorganismos autótrofos (quimiolitotrofos y fotótrofos), y de forma muy escasa se observa la presencia de indicadores fecales y de bacterias patógenas.

El manantial hipertérmico ubicado en Tabay, predominan las bacterias Gram positivas, mientras que en la fuente mesotérmica de Bailadores se observan principalmente bacterias autóctonas Gram negativas y cocos Gram positivos. Estos hallazgos concuerdan con otras investigaciones realizadas en recursos termales y de naturaleza mineral semejante a las fuentes consideradas en el presente estudio (16,17).

Asimismo, la caracterización microbiológica y físico química de nuestras nacientes hídricas, las clasifica como agua del subtipo 4-A tibias (de acuerdo a la norma de clasificación de cuerpos de agua y efluentes líquidos decreto no.883). Pese al elevado contenido de sales (causado por el contenido importante de sodio y de calcio), que definen su moderada dureza, pueden ser utilizadas para el contacto humano total sin tratamiento previo de desinfección (18). Es importante tener presente, el monitoreo permanente de estos recursos, ya que dada sus características especiales ofrecen la posibilidad de ser explotadas, especialmente para fines de terapéuticos y de esparcimiento que promuevan el desarrollo

económico y social de estos sectores donde que emergen estas fuentes.

Algunos autores dividen los beneficios de las aguas termales en tres dimensiones: biológica, física y química, aunque en realidad todas actúan al mismo tiempo. Cuando una persona se expone a un baño termal recibe la acción directa de la temperatura de las aguas termales en forma de shock, y los minerales comienzan a ser absorbidos en pequeñas concentraciones por la piel. Una vez en el organismo, los minerales son depositados en el tejido celular subcutáneo, y desde ahí ejercen su acción activando el metabolismo orgánico a través del eje hipotálamo-suprarrenal. De hecho, tales beneficios dependerán de la frecuencia y tiempo de las sesiones en las aguas termales (4,19).

Las aguas termales pueden considerarse medicamentos químicos, ya que las mismas constituyen soluciones diferentes de sales en agua. Estas soluciones de origen natural están dotadas de peculiares propiedades que le confieren actividad terapéutica y pueden justificar su acción medicamentosa. Por lo tanto, desde este punto de vista se puede establecer que las aguas mineromedicinales son agentes terapéuticos. Se debe destacar que las aguas minerales constituyen entidades individuales, ya que la composición química de cada yacimiento es, por lo general, diferente (20).

Es oportuno resaltar, que el enriquecimiento mineral paulatino que han tenido los acuíferos procedentes de Tabay y Bailadores, ha permitido su clara definición como recursos termales, además de ser clasificadas por sus características especiales y de interés mineromedicinal como aguas del tipo sulfatada sódica y bicarbonatada sódica respectivamente. En

relación a este punto, Burguera et al. (6), señalan que estas fuentes termales por sus características físico-químicas que les confiere su mineralización particular, se distinguen y destacan de otras fuentes en la región. Dentro de la disciplina del termalismo y la hidrología medicinal, las aguas sulfatadas sódicas son consideradas como las de mayor beneficio terapéutico. Son prácticamente las más utilizadas en terapéutica termal, seguidas de las bicarbonatadas y cloruradas sódicas (19). La presencia en estas aguas de azufre bivalente y del ión sulfato; así como, la temperatura, le confieren propiedades, para el posible tratamiento de diferentes enfermedades, lo cual no sucede con otras de composición química diferente, cuya acción es más limitada y específica (6).

Las aguas sulfuradas sódicas son menos irritantes que las cálcicas, y por tanto recomendables para las mucosas. La presencia de iones sulfatos predominante en estas aguas, favorecen la función digestiva y la evacuación intestinal, actuando como purgante y coadyuvante para el tratamiento del estreñimiento. También se ha reportado que son colagogas, diuréticas y coleréticas, disminuyendo las concentraciones de bilirrubina en la sangre y mejorando las funciones del sistema hepato-biliar (20,21).

Se ha demostrado en ensayos clínicos que la balneoterapia con aguas sulfatadas, como terapia complementaria es favorable en el tratamiento de las enfermedades del aparato locomotor (artritis, tendinopatías crónicas, fibromialgias y otras patologías dolorosas); especialmente en aquellos casos en los que una intolerancia digestiva o cutánea limite el uso de fármacos habituales (20). En afecciones reumatológicas,

los efectos no son inmediatos, pero pueden tener acciones sedantes, analgésicas, relajantes antiespasmódicos, y otras; ya que retardan la evolución, y disminuye el dolor. Las aguas sulfuradas tienen un especial tropismo por las estructuras articulares, en especial por el cartílago, y se fijan en los mucopolisacáridos del tejido conjuntivo (4,22). Algunos de estos efectos favorables también se observan en personas con estados de agotamiento general, o post-traumáticos (4,15).

En las afecciones de las vías respiratorias y otorrinolaringológicas, en algunos países europeos por ejemplo España, el tratamiento con aguas sulfatadas es la segunda indicación más frecuente después de la patología reumatológica en adultos, y la primera en niños (20,21). Entre las principales acciones farmacodinámicas de las aguas sulfatadas figuran las dependientes de la capacidad oxido-reductora del azufre bivalente, lo cual ejerce una acción antitóxica, antialérgica y mejoradores del trofismo, estimulando la acción del hígado y las defensas orgánicas. Posee además propiedades bactericidas y antisépticas, sus efectos mucolíticos y fluidificantes (disminuyen la viscosidad de las secreciones), sobre la mucosa respiratoria ayuda a regular la circulación y la secreción bronquio-pulmonar (17).

De forma general, el empleo de aguas sulfatadas está indicado en afecciones recidivantes, catarros, supuraciones prolongadas e inflamaciones crónicas de tipo hipertrófico y purulento, también en estados reactivos de la enfermedad, indicándose un tratamiento termal más suave (20,21).

En afecciones de la piel, el azufre y los derivados sulfurados estimulan la proliferación celular, activan los mecanismos de defensa con proliferación de plasmocitos y disminución de la Inmunoglobulina E y protegen contra los procesos oxidativos tóxicos por captación de radicales libres oxigenados con el hidrogeno sulfurado (H_2S), lo cual favorece la cicatrización (13, 20, 21).

Asimismo, las propiedades del azufre no solo aportan beneficios a nivel terapéutico, sino también a nivel estético, por mejorar visiblemente la calidad del cabello, las uñas y la piel, ya que favorece la síntesis de queratina y de colágeno, proteínas de vital importancia en la formación y equilibrio de estos tejidos (4, 22, 23). Otro aspecto importante, es que las aguas sulfatadas generalmente son hipertónicas y por tanto, suelen ser eficaces sobre el componente edematoso de la celulitis, con lo que pueden contribuir con su tratamiento y/o coadyuvante de su eliminación (19).

En otras palabras, la literatura señala que las aguas termales sulfatadas mediante la balneoterapia tienen efectos beneficiosos en el tratamiento de enfermedades: de la piel, reumatismo, respiratorias y gastrointestinales, reactivación del metabolismo y sedación del sistema nervioso. En ocasiones esta acción se le atribuye a las "sulfobacterias" (organismo aislado por la "Sociedad Internacional de Medicina Hidrológica"), para explicar los efectos de los "elementos intangibles" de las aguas termales. Se ha descrito que este grupo de microorganismos ayudan al cuerpo humano mejorando el sistema de defensa de la piel frente a todo tipo de agresiones; de la misma forma, que ayudan a disminuir el proceso de envejecimiento de este organismo (4, 25).

Actualmente la hidrología médica como rama de la terapéutica, se ha nutrido de los avances de la ciencia y se apoya en otras disciplinas, tales como las ciencias naturales, la geología, la química, la física, la fisiología, la farmacia, entre otras. Lo que ha permitido determinar las propiedades y componentes que pueden tener un efecto curativo sobre patologías diferentes y sobre otras donde sus efectos no han sido probados (25,13).

Sin embargo, a pesar de que las curas termales han perdido su valor en empirismo de antaño, y por ende, las curas hidrotermales no ocupan hoy el lugar privilegiado que ocupaban en otras épocas, lo cual es debido al desarrollo de la medicina en su conjunto, especialmente de la cirugía y la terapéutica medicamentosa. Es importante saber y recordar que la medicina tradicional es una alternativa al tratamiento de ciertas enfermedades, de igual forma las aguas termales son una alternativa o un complemento para el conjunto terapéutico (25). Muchas veces la naturaleza nos ofrece muchos beneficios, recursos que en muchas ocasiones no se aprovechan de la manera adecuada. Es por ello, que la presente investigación trata de difundir la naturaleza mineral de las fuentes termales de Tabay y de Bailadores; demostrando que estos recursos hídricos naturales pueden ofrecer a la región un gran potencial terapéutico complementario en una amplia gama de enfermedades y posibles beneficios en la salud.

CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación desarrollada, podemos señalar que las fuentes termales de Tabay y Bailadores, por su naturaleza hidrogeoquímica del tipo

sulfatadas y bicarbonatadas sódicas, ofrecen un gran potencial como aguas mineromedicinales, ya que la literatura consultada y especializada en el campo de la hidrología médica, informa que las aguas de esta naturaleza han sido utilizadas en el tratamiento de una amplia gama de enfermedades.

De igual manera, los componentes termominerales biológicamente activos identificados en los recursos acuíferos estudiados, cumplen con los criterios de calidad de agua para el contacto humano establecidos por organismos oficiales. Por tanto, todos estos atributos ponen de manifiesto que son fuentes termales mineralizadas, que tienen la posibilidad de ser explotadas para uso en la medicina integrativa; y que actualmente no se han promovido para estos fines.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) Universidad de Los Andes, en donde se recibió entrenamiento en el área de hidrogeología e hidrología isotópica. Se hace un reconocimiento especial al Dr. Hervé Jegat, quien permitió la utilización del Laboratorio de Aguas y Suelos para el análisis isotópico de las aguas termales y al personal técnico que labora en dicho instituto.

REFERENCIAS

- 1 Castany G. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona Ed Omega. 1971
- 2 Rodríguez R. Características de las aguas minerales y medicinales de Cuba. Acta Geológica Hispánica 1998; 33(1-4): 373-393.

- 3 Moreno C. Díaz J., Caraballo H., Chacón K. Caracterización hidrogeoquímica de las fuentes de aguas termales del estado Trujillo-Venezuela. Academia 2007, VI (12): 92-105.
- 4 Maraver F. Importancia de la medicina termal. Balnea 4: 35 – 50 (2008).
- 5 Santana J., Rodríguez N., Veliz T., Burquet N., Tolosa V., Lima L., De La Rosa D. Análisis y caracterización de fangos termales para evaluar su uso en el posible tratamiento de salud en humanos. Contribución a la educación y a la protección ambiental 2004; 5.
- 6 Burguera J., Burguera M., Andersen R., Sampol M. Estudio preliminar sobre las fuentes de aguas termales del estado Mérida, Venezuela. Geotermia1982; 8: 25 -35.
- 7 Urbani F. Fuentes de aguas termales de Venezuela. Geotermia, 1991; 2:2 - 3.
- 8 AWWA. APHA. AWWC. Standard Methods for the Examination of Water and Wast Water. 18th Edition. 1992.
- 9 Newman B., Tanger A., Curtas T. 2008. IAEA Standard operating procedure for The Los Gatos Research DLT – 100 Liquid-Water Isotope Analyser. Rev. 8.
- 10 Barrow G., Feltram R. Manual for the identification of medical bacteria. 3th Ed , Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- 11 APHA-AWWA-WPCF. Standard Methods. American Public, Washington DC.1985.
- 12 Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Agua potable envasada: requisitos No. 1431; Norma Caracas. 1992
- 13 Rodríguez M. Agua. Efectos terapéuticos de las aguas según su composición. Fisioterapia 2002; 24 (Monográfico 2): 22 – 28.
- 14 Seelkopf C. Aguas mineromedicinales en el estado Mérida. Universidad de Los Andes. Universitas Emeritensis 1955; 2: 66 – 93.
- 15 Hernández D., Sánchez S. Distribución, caracterización y marco geológico de las aguas termales en Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Tesis de grado Ingeniero Geólogo. Caracas, Junio 2004.
- 16 De La Rosa M., Mosso M. Diversidad microbiana de las aguas minerales termales. En: Lopez J, Pinuaga J. (Edit). Panorama actual de las aguas minerales y minero-medicinales en España, Madrid: Ministerio de Medio Ambiente –ITGE, 2004: 153 – 158.
- 17 Llamas M. Las aguas minero-medicinales del Balneario de Almeida. Medicina Naturista 2009; 1(3): 41 – 60.
- 18 M.A.N.R. 1995. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Decreto No.883. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5021. Extraordinario.
- 19 Martrat M. Propiedades y utilidades del agua sulfurada. Esthetic.es (Internet site): Ingress communications available from: <http://www.vipasana.es/art%20spa%20agua%20sulfurada%20-Esthetic%20World.pdf>
- 20 San Martín J., Armiejo M. Clasificación de las aguas minero medicinales. En: curas balnearias y climáticas. Talasoterapia y helioterapia, Ed. Computense Madrid 1994 p93-99.
- 21 San Martín J., Armiejo M. El azufre en las aguas mineromedicinales. Aguas sulfatadas y aguas sulfuradas. En: curas balnearias y climáticas. Talasoterapia y helioterapia, Ed Computense Madrid, 1994, p243 – 256.
- 22 Pittler M., Karaguille M., Karaguille M., Ernts E. Spa therapy and balneotherapy for theating low back pain: meta-analysis of randomized trials. Rheumatology (Oxford) 2006; 45 (7): 880 - 884.
- 23 Lopalco M., Proia A., Fraioli A., Serio A., Cammarella I., Petraccia L., Frassi M. therapeutic effect of the association between pulmonary ventilation and aerosol-inhalation with

sulphureous mineral water in the chronic bronchopneumopathies. Clin Ter 2004; 155 (4): 115 - 120.

- 24 Maraver F. Importancia terapéutica de las aguas minero-medicinales. En: Maraver F. (Dir). Vademécum de aguas Mineromedicinales Españolas. Madrid: Instituto de Salud Carlos III, 2003, p13 - 22.
- 25 Llanes A., Cima A., Ledesma R., González P., Suarez M., Fagundo J., Melán C. Aguas mineromedicinales de la sierra del Rosario. Potencial terapéutico. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental 2005(6): Q70-Q77.

ANEXOS

Tabla 1. Condiciones instrumentales del ICP - DES

Flujo de Argón	14,5 l.min ⁻¹
Velocidad de la bomba	2,50 ml.min ⁻¹
Poder de radio frecuencia	1400 W
Vista del plasma	Axial
Flujo del nebulizador	0,60 l.min ⁻¹

Tabla 2. Características analíticas del sistema ICP-DES, para la determinación de los minerales.

Elemento	LOD (mg/l)	LOQ - LOL	r ²	% RSD
Sodio (Na ⁺)	0,012	0,041 - 100	0,9998	3,45
Potasio(K ⁺)	0,025	0,086 - 80	0,9997	2,50
Calcio (Ca ⁺²)	0,059	0,198 - 80	0,9991	2,85
Magnesio (Mg ⁺²)	0,042	0,140 - 80	0,9993	3,75

LOD: Límite de detección, LOQ: Límite de cuantificación, LOL: intervalo de Linealidad.

Tabla 3. Parámetros hidrográficos de la fuente termal de Tabay, obtenidos en el presente estudio y de otros reportes.

Parámetros	En el presente estudio*	Año 1982 (Burguera et al.; Ref 6)	En el año 1955 (Seelkopf, Ref.14)
ANÁLISIS FÍSICO			
• Temperatura hídrica (°C)	49,2 ± 0,1	51	48
• pH	8,45 ± 0,01	8,3	8,6
• Conductividad eléctrica (mS/cm)	3,55 ± 0,05	1271	-
• Sólidos Totales Disueltos (g/L)	1,047 ± 0,024	890	681
ANÁLISIS QUÍMICO			
ANIONES (mg/L)			
• Carbonato (CO_3^{-2})	40,7 ± 0,5	-	-
• Bicarbonato (HCO_3^-)	41,2 ± 0,9	18	10
• Sulfato (SO_4^{-2})	504,8 ± 3,4	554	386
• Cloruros (Cl^-)	60,9 ± 2,7	38	50
CATIONES (mg/L)			
• Sodio (Na^+)	302,1 ± 10,2	135,4	105,4
• Potasio (K^+)	43,2 ± 0,7	1,2	1,9
• Calcio (Ca^{+2})	67,3 ± 2,8	109,8	94
• Magnesio (Mg^{+2})	33,4 ± 1,2	20,3	4
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (ufc/mL)*			
Coliformes totales	< 12	-	-
Coliformes fecales	< 8	-	-

TIPO DE AGUA TERMAL

Sulfatada sódica

Termomineral sulfatada

Sulfatada

* Cada resultado corresponde a la media ± desviación estándar; ufc: unidades formadoras de colonias por mililitro.

Tabla 4. Parámetros hidrográficos de la fuente termal de Bailadores, obtenidos en el presente estudio y de otros reportes.

Parámetros	En el presente estudio*	Año 1982 (Burguera et al.; Ref 6)	En el año 1955 (Seelkopf, Ref.14)
ANÁLISIS FÍSICO			
• Temperatura hídrica (°C)	39 ± 1	34	31,5
• pH	8,24 ± 0,01	9,92	9,4
• Conductividad eléctrica (mS/cm)	1,81 ± 0,12	1100	-
• Sólidos Totales Disueltos (g/L)	0,69 ± 0,03	6	326
ANÁLISIS QUÍMICO			
ANIONES (mg/L)			
• Carbonato (CO ₃ ⁻²)	20,8 ± 1,3	-	-
• Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	145,1 ± 3,2	136,8	75
• Sulfato (SO ₄ ⁻²)	97,3 ± 1,8	99	106
• Cloruros (Cl ⁻)	98,2 ± 2,1	-	99
CATIONES (mg/L)			
• Sodio (Na ⁺)	415,2 ± 4,8	100,1	105,4
• Potasio (K ⁺)	43,5 ± 1,7	0,14	1,9
• Calcio (Ca ⁺²)	50,2 ± 1,2	100	87
• Magnesio (Mg ⁺²)	21,3 ± 0,8	19,3	4
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (ufc/mL)*			
Coliformes totales	< 12	-	-
Coliformes fecales	< 8	-	-
TIPO DE AGUA TERMAL	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada sódica	Sulfatada- clorosulfurada- oligometálica

* Cada resultado corresponde a la media ± desviación estándar; ufc: unidades formadores de colonias por mililitro.

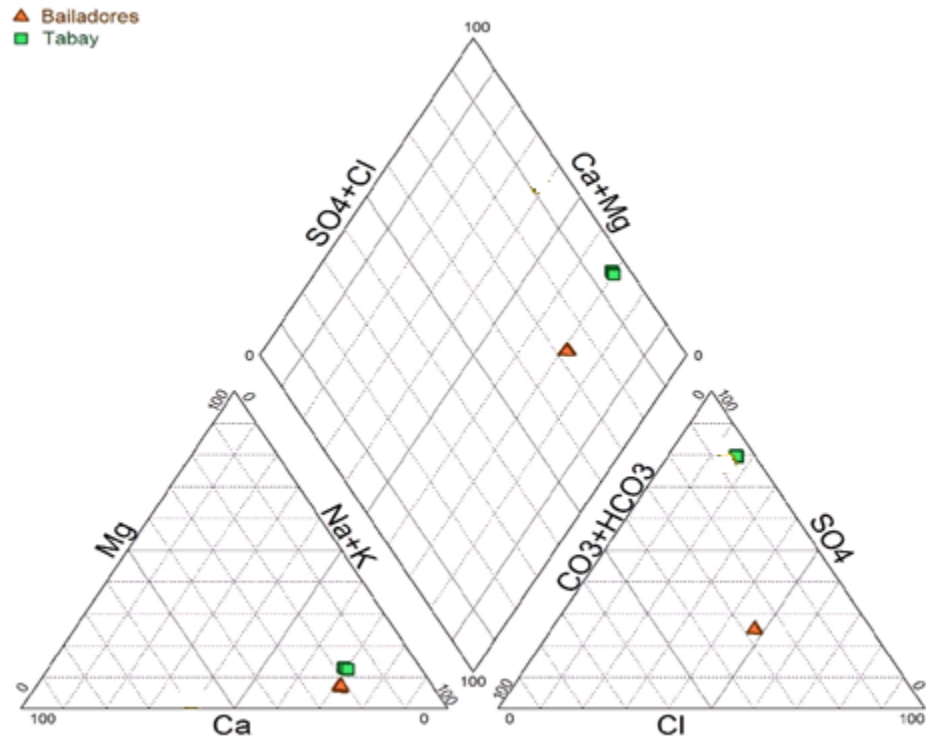


Figura 1. Diagrama de Piper con la clasificación de las aguas termales de Tabay y Bailadores.